

平成 30 年 12 月 25 日

## 若手研究者海外挑戦プログラム報告書

独立行政法人 日本学術振興会 理事長 殿

受付番号 201880026

氏名 佐々木 和

(氏名は必ず自署すること)

若手研究者海外挑戦プログラムによる派遣を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。  
なお、下記記載の内容については相違ありません。

### 記

1. 派遣先：都市名 イスタンブール (国名 トルコ共和国)
2. 研究課題名（和文）：ニュートリノ集団振動の計算法の改良
3. 派遣期間：平成 30 年 8 月 1 日 ~ 平成 30 年 11 月 30 日 (122 日間)
4. 受入機関名・部局名：ミマルシナン美術大学
5. 派遣先で従事した研究内容と研究状況（1/2 ページ程度を目安に記入すること）

ニュートリノの自己相互作用により引き起こされる集団振動の計算法の改良を試みた。具体的には BBGKY 階層性に基づいてニュートリノ同士の二粒子相関関数を導入し、平均場近似を超える高次の寄与を従来の一粒子ハミルトニアンに加えた。フェルミの結合定数の二次まで考慮すると二粒子相関関数はマルコフ近似の下、ボルツマン方程式の衝突項に帰着されることが明らかとなった。また、ニュートリノ同士の二粒子相関関数との類推でニュートリノと電子や原子核との間の多粒子相関関数を導入することができた。多粒子相関関数の寄与はマルコフ近似においてニュートリノとバックグラウンドの粒子との間の散乱や吸収、対生成、制動放射などのボルツマン衝突項に帰着されることが明らかとなった。ニュートリノの自己相互作用で用いられた議論はニュートリノを含むより一般の相互作用へと拡張された。先行研究で用いられた CTP 法とは異なる方法でニュートリノ振動とボルツマン衝突項を共に考慮した運動方程式を導出することができた。数式の導出だけではなく、得られたニュートリノ輸送法を用いて電子捕獲反応と原子核との散乱に対するニュートリノ振動の影響を調べた。反応前後でニュートリノの数密度が保存するか否かによってニュートリノ振動の影響が異なることが明らかとなった。

また、当研究課題と並行してニュートリノ集団振動における断熱性に関してトルコグループと議論を行い、集団振動の非線形な振る舞いについて理解を深めた。ニュートリノ振動を特徴付ける混合角の値が小さい場合、ニュートリノ集団振動は断熱遷移として解釈することができず、ニュートリノのスペクトルがマルチスプリットすることが示された。

## 6. 研究成果発表等の見通し及び今後の研究計画の方向性 (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

平均場近似を超える高次の寄与である多粒子相関関数とボルツマン衝突項の関係が明らかとなった。研究結果を整理し、先行研究の手法と比較を行い、論文としてまとめたい。今後の研究として、重力崩壊型超新星の中心で形成される原始中性子星内部でのニュートリノ振動の振る舞いを明らかにすることが求められる。従来の原始中性子星内部の数値計算ではボルツマン衝突項のみ考慮し、ニュートリノ振動は無視されてきた。しかし近年、Fast flavor transitions や非標準相互作用といった新しいニュートリノ振動のメカニズムが提案されており、原始中性子星内部でフレーバーの遷移が無視できるかどうか明らかでない。ニュートリノ振動が高密度領域で卓越する場合、従来考えられてきた超新星の爆発ダイナミクスや元素合成過程が大きく修正される可能性がある。

また、研究課題と併せてトルコグループと行なったニュートリノ集団振動の断熱性に関する共同研究は非線形で解析的に解くことのできないニュートリノ集団振動の振る舞いを理解する上で欠かせないものであり、今後のさらなる発展が求められる。特に、ニュートリノ集団振動の断熱性が破れ、マルチスプリットが起こる場合は、従来の回転座標系を用いた方法では説明することができず、トルコグループの得意とするベータ仮説の方法が有用になると期待される。

## 7. 本プログラムに採用されたことで得られたこと (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

研究課題に集中して取り組み、ニュートリノ集団振動の断熱性に関する新たな共同研究を推進することができた。ホストである Pehlivan 教授のみならず、ポスドクの Savas 氏や大学院生の Taygun, Basak 氏と研究内容に関して活発に議論し情報交換ができたことは大きな喜びとなった。イスタンブールに滞在しなければこれほど多くの人と研究内容に関して議論を行い、理解を深めることはできなかった。

トルコ人は親日的で人当たりが良いと以前から聞いていたが、まさにその通りであった。大学のスタッフはもちろんイスタンブールの住民も非常に親切で好意的に接してくれた。大学の外では基本的にトルコ語しか通じなかったが、ある程度の意思疎通は言葉に頼らなくてもできるので、語学の問題はそれほど気にならなかった。外国人とコミュニケーションをとる上で表情やその場の状況から相手の気持ちを察することが大切だと思った。また街のいたるところで犬や猫が堂々と寝転がっていたのが印象的だった。イスタンブールの人々からは動物を可愛がり大切にしてくれるだけの心の余裕が感じられた。



イスタンブールの野良猫